

**2065: AGENTS MÒBILS I DTN. DISSENY I  
IMPLEMENTACIÓ D'UN PROTOCOL  
D'ENCAMINAMENT EN L'ENTORN PROSES**

Memòria del projecte  
d'Enginyeria en Informàtica  
realitzat per  
Irene Vinent Mercadal

i dirigit per  
Ramon Martí Escalé

Bellaterra,.....de.....de  
2010

El sotasignat, .....  
Professor/a de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball a què correspon aquesta memòria ha estat realitzat  
sota la seva direcció per en

I per tal que consti firma la present.

Signat: .....

Bellaterra, .....de.....de 2010

# ÍNDIX

ÍNDIX DE FIGURES .....	iii
1. INTRODUCCIÓ .....	1
1.1. MOTIVACIÓ.....	1
1.2. OBJECTIUS.....	2
1.3. ESTRUCTURA DE LA MEMÒRIA .....	3
2. ESTUDI DE VIABILITAT I PLANIFICACIÓ TEMPORAL .....	4
2.1. ESTUDI DE VIABILITAT.....	4
2.1.1. Viabilitat tècnica.....	4
2.1.2. Viabilitat operativa .....	4
2.1.3. Viabilitat econòmica .....	4
2.1.4. Viabilitat legal .....	5
2.2. PLANIFICACIÓ TEMPORAL .....	6
3. ESTAT DE L'ART.....	7
3.1. XARXES MANET .....	7
3.2. XARXES DTN .....	7
3.3. AGENTS MÒBILS .....	10
3.4. PROTOCOLS D'ENCAMINAMENT DTN .....	10
3.4.1. Direct Delivery (DD) .....	10
3.4.2. First Contact (FC) .....	11
3.4.3. Spray-and-Wait .....	11
3.4.4. PRoPHET .....	11
3.4.5. Max-Prop .....	11
3.4.6. Epidemic .....	11
3.5. MODELS DE MOVIMENT .....	11
3.5.1. Random Map-Based Movement (MBM) .....	12
3.5.2. Shortest Path Map-Based Movement (SPMBM) .....	12
3.5.3. Routed Map-Based Movement (RMBM).....	12
3.5.4. Working Day Movement (WDM) .....	12
3.6. EINES DE SIMULACIÓ .....	12
3.7. ESTADÍSTIQUES DELS AEROPORTS D'ESPANYA.....	14

4. ANÀLISI I DISSENY .....	15
4.1. EINA DE GENERACIÓ DE MAPES I RUTES .....	15
4.2. ESCENARI D'ENVIAMENT DE NOTÍCIES.....	16
4.3. ESCENARI D'ENVIAMENT DE RUTES DE VOL .....	18
5. IMPLEMENTACIÓ .....	19
5.1. EINA DE GENERACIÓ DE MAPES I RUTES .....	19
5.1.1. Interfície gràfica de l'eina de creació de mapes i rutes .....	20
5.2. COMPORTAMENT DEL MOVIMENT DELS DOS ESCENARIS.....	22
5.3. PROTOCOL D'ENCAMINAMENT DE L'ESCENARI DE NOTÍCIES.....	26
5.4. PROTOCOL D'ENCAMINAMENT DE L'ESCENARI DE RUTES DE VOL .....	27
5.5. MODIFICACIONS AL SIMULADOR .....	30
6. PROVES I RESULTATS.....	31
6.1. CREACIÓ DEL MAPA I LES RUTES .....	31
6.2. SIMULACIÓ .....	33
6.3. ANÀLISI DE RESULTATS .....	38
6.3.1. MessageStatsReport .....	38
6.3.2. MessageGraphvizReport.....	41
7. CONCLUSIONS .....	46
8. REFERÈNCIES .....	49

## ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1: Planificació inicial del projecte.....	6
Figura 2: Interfície del Generador de mapes i rutes. ....	21
Figura 3: Pantalla d'ajuda de les variables a introduir en el Generador de mapes i rutes. ....	21
Figura 4: Valors utilitzats per a crear el mapa i les rutes. ....	32
Figura 5: Confirmació de la creació correcta del mapa i les rutes. ....	32
Figura 6: Mapa creat i interfície del The ONE.....	33
Figura 7: Començament de la simulació de l'escenari de Rutes de Vol. ....	34
Figura 8: Informació d'encaminament d'un aeroport a l'escenari de Rutes de Vol. ....	35
Figura 9: Informació d'encaminament d'un avió a l'escenari de Rutes de Vol. ....	36
Figura 10: Zoom de les connexions entre nodes. ....	36
Figura 11: Informació d'encaminament d'un avió a l'escenari de Notícies. ....	37
Figura 12: Informació d'encaminament d'un aeroport a l'escenari de Notícies.....	38
Figura 13: Graf dels primers 20 nodes de l'escenari de Rutes de Vol. ....	43
Figura 14: Graf dels primers 20 nodes de l'escenari de Notícies. ....	45
Figura 15: Planificació final del projecte. ....	48

# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. MOTIVACIÓ

La idea d'aquest projecte sorgeix en un entorn de recerca per part del professorat del Departament d'Enginyeria de la Informació i de les Comunicacions, els quals estan involucrats en un projecte del Plan Avanza en l'entorn PROSES (Protocolos de Red para el Cielo Único Europeo) [PROSES]. En aquest projecte s'està desenvolupant un Protocol de xarxa per a l'Espai Únic Europeu (the Single European Sky), el qual és una iniciativa de la Comissió Europea. El problema en general a solucionar de l'Espai Únic Europeu és el d'unificar el disseny, la gestió i la regulació de l'espai aeri dins la Unió Europea, i d'aquesta manera arribar a substituir la comunicació per veu per l'intercanvi de dades, de manera similar al que seria Internet però per l'aire, tenint en compte les diferències que hi ha.

El problema a solucionar és el d'analitzar la possibilitat de que hi hagi comunicació entre diversos vehicles aeris tripulats o no tripulats i els aeroports en escenaris diferents. Els tests es faran sobre vehicles no tripulats, en anglès UAVs (Unmanned Aerial Vehicle). A més s'haurà d'estudiar com seria la implementació dels respectius protocols d'encaminament per a aquests escenaris així com la realització de proves en un simulador. Per a aconseguir-ho s'han de tenir en compte diferents factors com poden ser la mobilitat de les aeronaus, el radi de cobertura dels dispositius que hi haurà per a la comunicació de dades, la velocitat de transmissió d'aquestes, entre d'altres. Tot això ens porta a la utilització de xarxes tolerants a interrupcions i endarreriments conegudes com DTN [RFC4838] (Delay-and-disruption Tolerant Networks), les quals ens permeten la comunicació entre nodes que no estan directament connectats punt a punt.

## 1.2. OBJECTIUS

Els principals objectius del projecte són els següents:

1. Estudi i comprensió del comportament de xarxes tolerants a interrupcions i endarreriments conegudes com DTN (Delay-and-disruption Tolerant Networks).
2. Estudi i comprensió del funcionament del simulador The ONE [ONE], en concret de la versió 1.4.
3. Realització d'un generador de mapes i rutes per a la simulació dels diferents protocols i escenaris.
4. Anàlisi i disseny d'un protocol d'encaminament per xarxes DTN amb Agents Mòbils en l'entorn PROSES. En concret l'escenari consisteix en l'enviament de notícies des de les torres de control dels aeroports a tots els avions interessats.
5. Implementació sobre el simulador del protocol d'encaminament dissenyat en el punt anterior.
6. Validació del protocol mitjançant una demostració amb el simulador The ONE.
7. Anàlisi i disseny d'un segon protocol d'encaminament sobre xarxes DTN, en un escenari d'enviament d'informació de canvis en rutes de vols dels avions a una torre de control (deguts a causes meteorològiques, atemptats terroristes, o qualsevol altre motiu).
8. Implementació sobre el simulador del protocol d'encaminament en l'escenari de canvi de rutes de vol.
9. Validació d'aquest últim protocol a través del simulador The ONE.

Es pot apreciar que s'ha seguit la metodologia clàssica: anàlisi, disseny, implementació i validació.

### 1.3. ESTRUCTURA DE LA MEMÒRIA

A continuació detallaré l'estructura que seguiré en aquesta memòria. El primer punt que seguirà a continuació serà l'estudi de viabilitat del projecte així com la planificació inicial del projecte. Seguidament hi haurà un altre punt on s'explicarà l'Estat de l'Art, més concretament es tractarà sobre les xarxes MANET i DTN, els Agents Mòbils, els protocols d'encaminament i models de moviment que hi ha sobre xarxes DTN i l'eina de simulació amb la que s'ha treballat.

A partir d'aquí en els següents capítols s'explicarà detalladament la realització del projecte. Primer vindrà una part d'anàlisi i disseny, on parlaré de l'eina de generació de mapes i rutes generada per a fer les simulacions; i a continuació explicaré els dos escenaris comentats anteriorment, el de Notícies i el de Rutes de Vol. En el següent punt s'explicarà la implementació del generador de mapes i rutes, així com dels dos protocols d'encaminament dissenyats per a cada escenari. I seguidament, com a darrer punt en la descripció del projecte, vindrà un capítol de proves i resultats de les simulacions fetes per a cada escenari i protocol.

La memòria continua amb un capítol de conclusions, on es relacionarà el grau d'obtenció dels objectius, així com línies futures d'actuació o possibles millores del treball realitzat i un anàlisi de la planificació. Per últim es troba el llistat de referències.



## **2. ESTUDI DE VIABILITAT I PLANIFICACIÓ TEMPORAL**

### **2.1. ESTUDI DE VIABILITAT**

En aquest punt enfocarem aquest estudi de viabilitat segons els aspectes següents: la viabilitat tècnica, la viabilitat operativa, la viabilitat econòmica i la viabilitat legal.

#### **2.1.1. Viabilitat tècnica**

Per tal d'estudiar la viabilitat tècnica d'aquest projecte estudiarem si reuneix les característiques tècniques per tal d'acomplir els objectius proposats.

Donat que es treballarà amb la creació d'un protocol d'encaminament per xarxes DTN amb Agents Mòbils, afirmarem que, ja que ja s'han realitzat protocols per a xarxes tolerants a endarreriments i interrupcions per una banda, i també s'utilitzen en l'actualitat els Agents Mòbils en diversos entorns, nosaltres podem unir els dos conceptes i fer-los funcionar a la vegada.

El simulador sobre el qual s'implementaran els protocols d'encaminament i els models de moviment és el The ONE, el qual ha estat dissenyat i implementat per a treballar sobre xarxes DTN.

Per tant, és viable la realització de protocols que puguin unir ambdós conceptes i simular-los sobre una eina amb la qual s'està treballant.

#### **2.1.2. Viabilitat operativa**

En quant a la viabilitat operativa, podem dir que tenim a la nostra disposició tots els dispositius hardware i software necessaris per a la realització del protocol, ja que no necessitarem res més que el simulador The ONE i un ordinador sobre el qual treballar amb el llenguatge java.

#### **2.1.3. Viabilitat econòmica**

Per a quantificar la viabilitat econòmica d'aquest projecte, comptabilitzarem les hores previstes per a la realització del mateix i el sou mitjà del personal qualificat per al desenvolupament dels protocols.

Posem que el treballador és un enginyer informàtic i que cobra 10€ per hora. Si el projecte consta d'unes 270 hores, el cost econòmic seria d'uns 2700€. Per tant es tracta d'un cost totalment assumible.

#### **2.1.4. Viabilitat legal**

Per acabar, en quant a viabilitat legal cal dir que el software que s'utilitzarà té una llicència de distribució lliure, ja que es realitzaran els protocols sobre el simulador The ONE, que és publicat sota una llicència GPLv3 [GPLv3]. El que cal tenir en compte és que s'han d'acomplir els estàndards de IEEE-FIPA [FIPA]. Per altra banda no es treballarà amb dades personals ni sensibles, així que es complirà la Llei Orgànica de Protecció de Dades de Caràcter Personal, LOPD [LOPD].

Per tant, aquest projecte és viable.

## 2.2. PLANIFICACIÓ TEMPORAL

La planificació inicial del projecte es pot veure detalladament en el diagrama de Gantt que hi ha a continuació. Les tasques que hi ha es corresponen amb els objectius del projecte i es detallaran a continuació:

- Informe previ: realització de l'informe previ pel 15 de gener (fita 1).
- Estudi DTN: estudi i comprensió de les xarxes DTN.
- Estudi AM: estudi i comprensió dels Agents Mòbils.
- Anàlisi i disseny 1: anàlisi i disseny d'un protocol d'encaminament per xarxes DTN sobre l'escenari de notícies.
- Implementació 1: implementació del protocol anterior així com del model de moviment de l'escenari.
- Validació 1: validació del protocol mitjançant el simulador The ONE (fita 2).
- Anàlisi i disseny 2: anàlisi i disseny d'un protocol de DTN per a un segon escenari, el d'enviar les rutes de vol.
- Implementació 2: implementació del segon protocol dissenyat, així com del respectiu model el moviment.
- Validació 2: simulació de l'anterior protocol (fita2).
- Memòria: creació de la memòria final al llarg del projecte (fita 3).
- Presentació: realització de la presentació del projecte (fita 4).

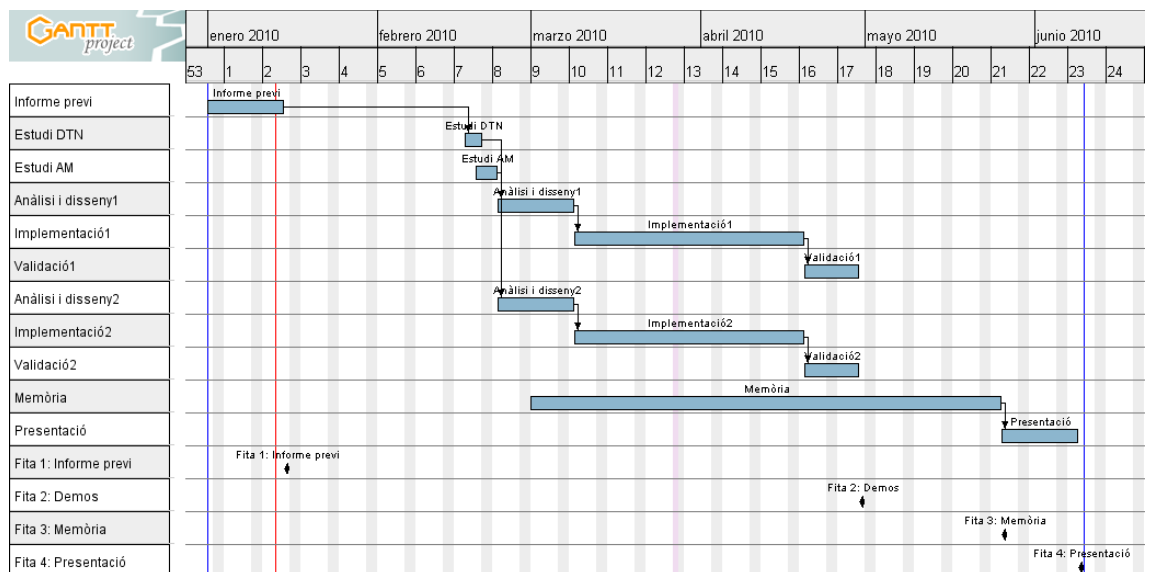


Figura 1: Planificació inicial del projecte.

### 3. ESTAT DE L'ART

Centrant-nos en la iniciativa d'investigació industrial PROSES cal dir que la integració de vehicles aeris tripulats i no tripulats a la xarxa és una realitat emergent. De fet, ja hi ha sistemes militars que interactuen amb nodes de comunicacions en xarxes distribuïdes. A més, l'aviació civil preveu posar en marxa al 2014 el programa europeu Single European Sky ATM Research (SESAR) [EATMMP], en el qual es preveu un ús massiu de transmissions de dades entre sistemes terrestres, sistemes aeris i satèl·lits.

En el nostre cas, explicarem a continuació l'estat de l'art de les xarxes MANET, les xarxes DTN, els Agents Mòbils, alguns dels protocols d'encaminament i dels models de moviment que implementa el simulador que utilitzarem, el simulador per a xarxes DTN que farem servir i algunes dades estadístiques extretes de la pàgina web d'Aena [AENA].

#### 3.1. XARXES MANET

En quant a protocols d'encaminament existents, són importants els relacionats amb xarxes MANET (Mobile ad hoc network) [MANET]. MANET està pensat per a dispositius mòbils connectats per xarxes sense fils (wireless) per a comunicar-se entre ells. S'utilitzen en entorns dinàmics, donat que cada dispositiu es pot moure de manera independent a qualsevol direcció, degut a que no existeix una infraestructura de xarxa fixa. Cada node participa en la presa de decisions, realitzant funcions de manteniment de la pròpia xarxa i participant en els algorismes d'encaminament. A més també es pot connectar a Internet.

#### 3.2. XARXES DTN

Un altre tipus de xarxa que existeix actualment i que serà la que farem servir és la DTN. Això es deu a que treballarem amb entorns amb interrupcions i endarreriments, i en aquests no es poden utilitzar els

protocols de TCP/IP degut a una sèrie de característiques que assumeixen aquests protocols, les quals podem resumir a continuació: ha d'existir una connexió entre l'origen i el destí, es tolera un retràs petit a l'hora d'enviar i rebre paquets, les velocitats d'origen i destí solen ser simètriques i normalment hi ha poca pèrdua de dades en cada connexió. Totes aquestes característiques no les compleixen les xarxes DTN, ja que en aquestes tindrem connexions intermitents, amb endarreriments variables, velocitats entre origen i destí asimètriques i amb una taxa d'error alta.

Aquest tipus de xarxes s'han utilitzat en diferents entorns. A continuació es llisten un parell d'exemples on s'han utilitzat alguns d'ells:

- En l'establiment d'una comunicació entre sondes enviades a l'espai exterior i la transmissió de dades a les bases terrestres per part de la NASA.
- En un entorn rural sense infraestructura de comunicacions als llacs del nord d'Irlanda, on uns sensors controlen certs nivells químics i unes barques que passen cada cert temps són els que fan d'Agents Mòbils Missatgers (Mules en terminologia DTN).

Les xarxes DTN, com ja hem comentat, són xarxes tolerants a interrupcions i endarreriments. Es caracteritzen per tenir connexions intermitents entre els nodes de la xarxa, ja que aquests es troben en moviment, tenen un radi de cobertura limitat i existeixen limitacions d'energia. Aquestes limitacions en la disponibilitat dels nodes fa que sigui necessari un emmagatzemament dels missatges fins que puguin ser enviats. Evidentment aquest emmagatzemament té una capacitat limitada, cosa que provoca la necessitat de tenir estratègies de gestió de cues per evitar la congestió.

Una altra característica d'aquest tipus de xarxes són els endarreriments llargs o variables. Aquests endarreriments no es poden controlar ni predir donat que les comunicacions entre l'origen i el destí poden trobar-se a distàncies llargues o diferents al llarg del temps pel seu moviment.

També és normal tenir un flux de dades asimètric, ja que l'enviament de dades en llargues distàncies és molt costós i es limiten les dades a enviar.

Totes aquestes limitacions tècniques fan que la taxa d'errors en les comunicacions sigui molt elevada i es necessitin mecanismes de detecció i correcció d'errors.

Per totes les característiques de les xarxes DTN és habitual guardar i reenviar els missatges. Aquesta tècnica és coneguda com *store-carry-and-forward* i consisteix en enviar els missatges a través de nodes intermediaris, els quals es guarden els missatges, els transporten i els reenvien fins a arribar a la destinació final, comprovant la seva integritat abans.

Aquestes xarxes poden ser de tipus oportunista, si els contactes entre nodes són d'aquest tipus, és a dir en comunicacions no previstes durant un temps indefinit, on a priori no sabem per quins nodes passarà un missatge fins a arribar al seu node destí. Els protocols d'encaminament seran els que tindran el poder de decisió en el sentit d'enviar un missatge a un node o a un altre, però no sabem quin node serà el que ens trobarem.

Per a les xarxes DTN s'ha definit una nova capa addicional anomenada *Bundle Layer* [RFC5050]. Comparant-la amb les capes d'Internet, amb TCP/IP estaria entre la capa de transport i la d'aplicació. Aquesta capa té com a funcionalitat principal guardar i enviar els missatges sencers o fragmentats entre nodes.

Per acabar, cal dir que els principals objectius de les xarxes DTN són la capacitat de funcionar en diferents entorns de xarxes i la fiabilitat davant possibles errors de xarxa o protocol.

### 3.3. AGENTS MÒBILS

Els Agents Mòbils són programes o processos que són capaços de migrar d'un node a un altre de manera autònoma i continuar amb l'execució al node destí.

Els Agents Mòbils es troben en un procés emergent en camps com el comerç electrònic (e-commerce), on la funcionalitat del Agents Mòbils en aquest camp permet recopilar informació que necessiti cada usuari en concret, on poden col·laborar amb altres agents per realitzar una compra o pagament. Una altra aplicació on es poden utilitzar Agents Mòbils és el que s'anomena Watchdog, un sistema de protecció que funciona esperant a que es doni un esdeveniment en un cert nombre de polsos de rellotge i reiniciar una determinada aplicació per exemple en cas de no donar-se l'esdeveniment. També és útil en l'administració de xarxes enviant un correu electrònic a l'administrador en cas de detectar congestió a la xarxa per exemple. Altres aplicacions que hi ha són el manteniment dinàmic de sistemes, l'actualització de software i en general en aplicacions amb processos en paral·lel.

### 3.4. PROTOCOLS D'ENCAMINAMENT DTN

A les xarxes DTN existeixen diferents protocols d'encaminament. Entre tots ells destacarem els que el simulador que utilitzarem, el The ONE, implementa. Aquests es poden diferenciar pel número de còpies que hi pot haver a la xarxa DTN de cada missatge: d'una còpia, de  $n$  còpies i de còpies il·limitades o basades en estimacions.

#### 3.4.1. Direct Delivery (DD)

Aquest protocol és del primer tipus d'encaminament, el d'una sola còpia, on només hi pot haver una còpia de cada missatge. Com el propi nom deixa entreveure, el funcionament d'aquest protocol consisteix en que el node emissor transporta el missatge fins que es troba amb el node destinatari.

### 3.4.2. First Contact (FC)

Com en el protocol anterior, aquest també utilitza un tipus d'encaminament d'una sola còpia, però en aquest cas, el node emissor té el missatge fins que es troba un node qualsevol, al que li passa el missatge, el qual es comportarà igual fins que algun node es trobi amb el destí.

### 3.4.3. Spray-and-Wait

El protocol Spray-and-Wait és del tipus en que es tenen  $n$  còpies del missatge, on aquesta  $n$  depèn d'un màxim que es pot configurar. Els nodes van enviant missatges fins que se'ls acaba el número màxim que poden transmetre.

### 3.4.4. P<sub>Ro</sub>PHET

El protocol P<sub>Ro</sub>PHET és de tipus "flooding" i s'intenta estimar quin node té la major probabilitat de ser capaç d'entregar el missatge al node destí. Aquesta estimació es basa en les anteriors trobades entre nodes.

### 3.4.5. Max-Prop

Aquest protocol també inunda la xarxa de missatges, però una vegada s'ha entregat el missatge al seu destinatari, s'esborra la resta de còpies. A més l'enviament de missatges es fa en un ordre específic que té en compte el número de salts que ha fet el missatge, així com en probabilitats basades en anteriors encontres.

### 3.4.6. Epidemic

I per últim, el protocol Epidemic també segueix l'esquema dels dos anteriors protocols, però aquest transmet un missatge sempre que es troba amb un altre node.

## 3.5. MODELS DE MOVIMENT

Els nodes es poden moure seguint diferents pautes. Entre ells, a continuació explicaré alguns dels models de moviment que hi ha



implementats també al simulador, on el moviment dels nodes poden seguir un ordre aleatori, ser obligats a seguir un mapa o bé simular el comportament humà:

#### **3.5.1. Random Map-Based Movement (MBM)**

En aquest model de moviment els nodes es mouen aleatòriament però seguint els camins definits pel mapa.

#### **3.5.2. Shortest Path Map-Based Movement (SPMBM)**

Per aconseguir un moviment més realista, en aquest model de moviment, els nodes troben aleatòriament un punt del mapa, i després segueixen la ruta més curta per a arribar-hi, des del punt en que es troben. Aquests punt poden ser escollits de forma totalment aleatòria o d'una llista de punts d'interès (POI: Points of Interest).

#### **3.5.3. Routed Map-Based Movement (RMBM)**

Per acabar, aquest model fa que els nodes segueixin unes rutes predeterminades que es poden especificar a través de fitxers.

#### **3.5.4. Working Day Movement (WDM)**

Aquest model de moviment s'ha creat per a simular el comportament del moviment humà. Per això, intenta simular activitats que els humans seguim al llarg de la setmana: dormir a casa, treballar a una oficina i sortir amb els amics a la tarda. A més els nodes es poden moure sols, en grups, caminant, en cotxe o en autobús.

### **3.6. EINES DE SIMULACIÓ**

En quant a eines de simulació per a xarxes DTN, existeix el simulador The ONE, que farem servir en les nostres simulacions. Amb el mateix, s'ha simulat el funcionament de diferents protocols sobre varis escenaris, entre els quals ens crida l'atenció un escenari on els nodes que fan de Mules que transporten són automòbils, trens i persones movent-se seguint els camins del mapa de Helsinki o unes rutes predeterminades.

El simulador The ONE està dissenyat per a avaluar protocols d'encaminament i d'aplicació sobre xarxes DTN sobre diferents escenaris i està fet en java. El simulador inclou sis protocols d'encaminament coneguts però ens permet crear els nostres, així com crear escenaris basats en diferents models de moviment i veure el seu funcionament mitjançant una interfície gràfica que simula el seu comportament a temps real, així com informes per analitzar els resultats.

Totes aquestes funcionalitats són les necessàries per a crear un nou protocol d'encaminament i veure el seu comportament de manera fàcil i senzilla, per això s'ha elegit aquest simulador i no un altre.

El més interessant d'aquest simulador és la capacitat de configuració de paràmetres que ens permeten simular diferents estats dels nodes. Per a això tindrem en compte la mobilitat d'aquests, la densitat de població, la distància entre origen i destí, el TTL (time to live) dels missatges, entre d'altres característiques.

Per acabar tenim la interfície gràfica per a visualitzar els resultats en temps real o bé a través dels informes creats. En la interfície gràfica es poden veure els nodes i els camins creats entre ells, si utilitzem un model de moviment basat en mapes. És imprescindible que tots els nodes estiguin connectats de manera directa o indirecta. Durant la simulació es pot interactuar amb ella, es poden veure dades corresponents a cada node de manera independent (missatges enviats o rebuts, connexions...), així com posar en pausa la simulació, canviar el zoom o ajustar la velocitat de la simulació. Els informes creats també ens poden ajudar molt a analitzar els resultats obtenint per exemple el percentatge de missatges entregats al seu destinatari, per quins nodes han passat els missatges abans de ser entregat al seu destí, entre d'altres.

Els aspectes que utilitzem del simulador seran explicats amb més detall a mesura que entrem en la implementació dels escenaris, protocols d'encaminament i en la generació de mapes.

### 3.7. ESTADÍSTIQUES DELS AEROPORTS D'ESPANYA

A la pàgina web d'Aena es troben una sèrie d'estadístiques relacionades amb el trànsit que hi ha a tots els aeroports espanyols a nivell anual o mensual.

Per a la simulació del moviment d'avions a un espai aeri hem volgut que aquesta s'atraqués el més possible a la realitat. Un dels punts per aconseguir-ho ha estat estudiar les estadístiques, en quant a número d'operacions que es realitzen a cada aeroport durant els últims anys als aeroports d'Espanya, per a estudiar la densitat que hi ha als aeroports més principals.

D'aquí hem extret varies maneres d'expressar el trànsit. Podem dir que dels 48 aeroports que hi ha al territori d'Espanya, un 10% dels aeroports tenen el 50% del trànsit, o bé pel 30% dels aeroports transita el 75% d'avions.

## 4. ANÀLISI I DISSENY

En aquest apartat començarem explicant l'anàlisi i el disseny de l'eina de generació de mapes i rutes necessària per a la realització de proves amb el simulador. A continuació s'explicaran en que consisteixen els dos escenaris de moviment a implementar: el d'enviament de Notícies dels aeroports als avions i el d'enviament d'informació en el canvi de Rutes de Vol d'un avió a un aeroport.

### 4.1. EINA DE GENERACIÓ DE MAPES I RUTES

Per tal de poder utilitzar el model de moviment basat en mapes i el de rutes necessitem generar uns fitxers amb extensió .wkt que representaran aquests mapes i rutes, ja que és aquest el format que utilitza el simulador.

Un fitxer WKT (Well-known text) és un fitxer escrit amb llenguatge de marques per tal de representar objectes geomètrics en forma vectorial. Els objectes que es poden representar són punts, multipunts, línies, multi línies, polígons, multi polígons, col·leccions de geometria i punts en 3 i 4 dimensions. Per a la creació dels fitxers que es necessitaran, només faré servir línies, la notació de la qual és LINESTRING (3 4, 10 50, 20 25). Això representa una línia formada per tres coordenades en dues dimensions.

Les especificacions estan regulades per l'organisme internacional Open Geospatial Consortium [OGC], l'objectiu del qual és el de definir estàndards oberts i operables entre ells dins els Sistemes d'Informació Geogràfica i de la World Wide Web. De fet, el format WKT és la base d'altres formats més coneguts com el KML utilitzat per Google Maps i Google Earth.

## 4.2. ESCENARI D'ENVIAMENT DE NOTÍCIES

Aquest escenari consisteix en l'enviament de notícies des d'una torre de control d'un aeroport a tots els avions de l'espai aeri. Se suposa que després els propis avions tindran un filtre intern i mostraran per exemple per pantalla les que els interressi a la companyia o segons les subscripcions que tingui cada usuari. Com que el simulador The ONE només permet l'enviament de missatges de tipus unicast, és a dir, que genera missatges amb un únic origen i un únic destí, el més adequat en aquest cas és simular el broadcast (enviament a tots els nodes de la xarxa) mitjançant l'encaminament Epidemic. En aquest cas però es poden especificar també quins nodes poden ser emissors i quins receptors, per així diferenciar com a mínim entre el que serien avions i aeroports.

Una vegada explicat quina és la idea a solucionar, el primer que s'ha fet ha estat estudiar com funciona la creació d'un escenari. Com comentava abans, necessitem un model de moviment que ens representi el que volem simular. Analitzant els models que el simulador inclou, ens interessen els models de moviment anomenats `MapBasedMovement` i `MapRouteMovement`. És així perquè l'espai aeri ve representat per nodes que no es troben en moviment, els aeroports, els quals tenen un mapa de rutes de vol. Els avions es mouran d'un aeroport a un altre a través d'aquestes rutes. Per tant, per a realitzar tots els possibles camins s'ha utilitzat el model `MapBasedMovement`, i per simular els camins o rutes de vol que seguirà cada avió s'ha utilitzat el `MapRouteMovement`, classe java que estén de l'anterior i que utilitza uns camins predeterminats de l'àrea total del mapa.

Pel que fa al disseny, amb aquest model de moviment podem fer servir unes quantes funcionalitats interessants per a simular de manera més real el que seria el moviment d'avions entre els aeroports:

- Una d'aquestes funcionalitats és el fet de que els nodes es poden aturar a cada punt del camí, és a dir podem simular que es paren en

cada aeroport, simulant així l'aturada dels avions per proveir de benzina l'avió, per deixar temps al canvi de passatgers o tripulació, etc...

- Una altra funcionalitat important és el fet de poder crear diferents grups per distingir el tipus de node (avió o torre de control) i així parametritzar les característiques comunes en el grup més general i les característiques que els fan diferents per separat.

- Un altre punt important és la velocitat dels nodes, ja que les torres de control han d'estar sempre allà mateix però els avions han de volar entre uns 800 i 900 km/h.

- A més també es pot configurar el tipus d'interfície que faran servir els nodes per a comunicar-se, en aquest cas farem servir una comunicació sense fils, que el simulador anomena Bluetooth, l'antena del qual es trobarà tindrà un radi de cobertura de 20 Km i l'abast serà en horitzontal.

Com ja he comentat més amunt, l'encaminament d'aquests missatges que representaran notícies serà l'Epidemic, però amb caducitat per notícia. Aquest tipus d'encaminament es basa en enviar una còpia del missatge a tots els nodes amb qui es trobi al llarg del seu camí si les condicions ho permeten. D'aquesta manera es simula el fet d'enviar les notícies a tots els nodes ja que la propagació és bastant ràpida si hi ha connexions entre diferents avions. Tot i que existeix un buffer amb eliminació dels missatges antics, en aquest projecte no s'analitzarà aquest aspecte i es simularà que el buffer és prou gran o infinit.

### 4.3. ESCENARI D'ENVIAMENT DE RUTES DE VOL

El segon escenari dissenyat és el d'enviament de Rutes de Vol. La funcionalitat que volem aconseguir amb aquest és el de poder enviar un canvi de ruta a un aeroport en concret en cas de que es trobi amb una tempesta, un segrest de l'avió... No són pocs els casos d'accident d'avió on no s'arriba a trobar en un primer moment l'avió estrellat a causa d'un canvi de ruta, i que potser podria arribar a salvar alguna vida el fet de conèixer aquesta informació.

Pel que fa al disseny, en aquest escenari també s'utilitzaran els dos models de moviment explicats en l'escenari de Notícies i totes les consideracions que cal tenir en compte ja explicades.

En aquest cas però, una de les diferències importants és qui podrà ser origen i destí dels missatges. Ara l'origen no pot ser altre que els avions que volen en l'espai aeri, mentre que el destinatari sempre serà una torre de control. Tal com està implementat el simulador The ONE (enviament de missatges unicast), en la simulació tindrem una torre concreta com a destinatari, això voldrà dir que suposarem que les torres de control no estan connectades a través d'Internet entre elles. Això es podria donar en països subdesenvolupats o secundaris.

Per altra banda, en el cas de l'encaminament, es crearà un nou protocol, en el qual s'utilitzarà informació de les posicions en coordenades del propi avió i del que es trobi, que haurà de decidir si passar-li el missatge a un altre o quedar-se'l. Aquesta informació serà la posició actual de cadascú i la següent, per tal de calcular mitjançant angles el que s'està apropant més al destinatari final, que serà un aeroport. En cas de que els dos es trobin a la mateixa separació angular, es calcularà aleshores la distància que hi ha entre cada avió i el destí. En cas de trobar-se a la mateixa distància no s'enviarà aquest missatge a l'avió trobat, ja que no hi hauria cap millora en el fet de fer-ho i potser és millor fer un intercanvi de dades amb algun altre avió amb el que es pot arribar a trobar més endavant.

## 5. IMPLEMENTACIÓ

En aquest punt s'explicarà com s'ha implementat l'eina de generació de mapes i rutes dissenyada, el comportament del moviment dels dos escenaris i els protocols d'encaminament de cada un dels escenaris.

### 5.1. EINA DE GENERACIÓ DE MAPES I RUTES

Una vegada ja sabem quin és el format que necessitem per a la creació dels fitxers amb els quals representarem mapes i rutes, el WKT, s'ha creat una classe en java anomenada GenMap.java. El mètode principal es diu crearMapa i necessita una sèrie de paràmetres que li hem de passar per tal de crear els mapes i les rutes.

Aquests són els paràmetres i una petita explicació de cada un d'ells:

- Nom del fitxer: nom del mapa i de la carpeta on es crearà el conjunt de fitxers.
- Número d'aeroports: com el propi nom indica es crearan tants aeroports com indiqui aquesta variable.
- Percentatge de dispersió mínima: representa el percentatge de separació mínim entre els nodes que representen aeroports, calculat sobre l'espai total del mapa.
- Mida màxima de X i mida màxima de Y: valors x i y en metres de l'espai aeri que volem simular, i crear per tant les coordenades.
- N° de rutes de 2 punts: és el número de rutes amb només dos aeroports com a punts d'origen i destí que volem crear en tot l'espai possible de camins creat.
- N° de rutes Circulars de 3 punts: número de rutes de tipus circular amb 3 nodes o aeroports.
- N° de rutes Circulars de 4 punts: número de rutes de tipus circular amb 4 nodes o aeroports.



- N° de rutes Ping-Pong de 3 punts: número de rutes de tipus ping-pong amb 3 nodes o aeroports.
- N° de rutes Ping-Pong de 4 punts: número de rutes de tipus ping-pong amb 4 nodes o aeroports.
- Percentatge d'aeroports: percentatge d'aeroports que tindran la densitat de trànsit que indica la següent variable (donades les estadístiques dels aeroports d'Espanya de la pàgina web d'Aena es poden extreure per exemple valors com aquests: un 10% dels aeroports tenen el 50% del trànsit total, un 30% dels aeroports tenen el 75% del trànsit total...) per a fer-ho més realista.
- Percentatge del trànsit: percentatge de densitat del trànsit.
- Número de companyies: número de companyies aèries que volem crear.
- Llista de percentatges avió/companyia: llista amb el percentatge de rutes que volem que tingui cada companyia (Exemple: {20,30,40,10} en cas de tenir 4 companyies aèries).

Una vegada tenim totes les variables inicialitzades, al mètode crearMapes es crea una llista amb tantes coordenades com aeroports volem crear de manera aleatòria, controlant la dispersió mínima entre els nodes.

Es crearà una carpeta on obtindrem una sèrie de fitxers que ens representaran, el mapa a través d'un graf complet amb tots els camins possibles; les rutes de cada aeroport creada a partir de cada coordenada trobada aleatòriament i un punt contigu; i per últim les rutes de cada companyia en una carpeta pròpia amb dos fitxers per a diferenciar el tipus de ruta: circular o ping-pong.

#### **5.1.1. Interfície gràfica de l'eina de creació de mapes i rutes**

Per fer més fàcil a l'usuari la creació dels mapes també s'ha creat un formulari amb la biblioteca gràfica de java Swing [SWING], amb totes les

variables explicades abans, així com un botó d'ajuda amb l'explicació de cada variable. La classe creada s'anomena *GenMapForm.java*.

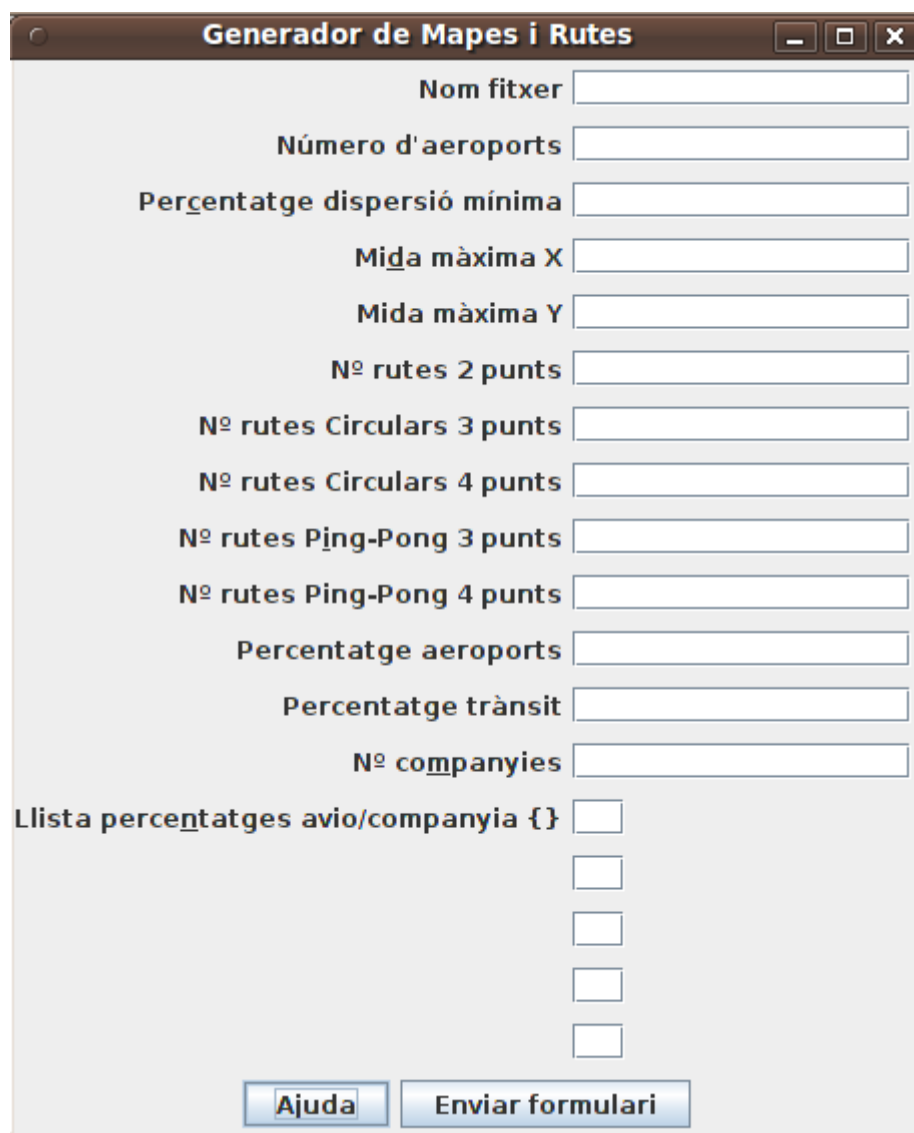


Figura 2: Interfície del Generador de mapes i rutes.

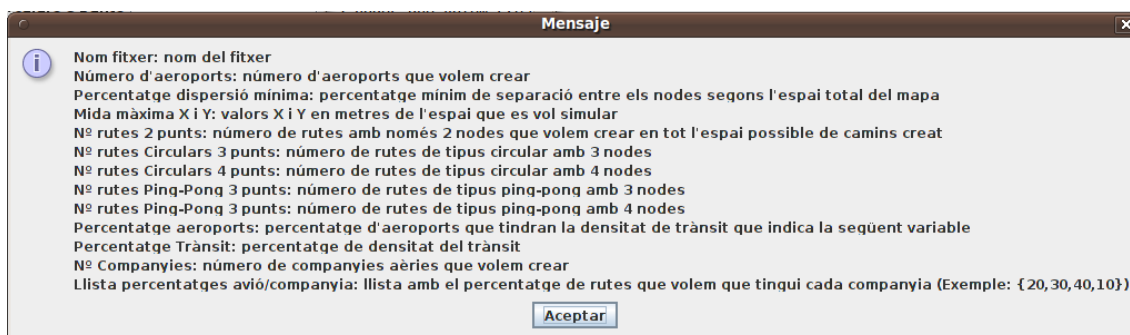


Figura 3: Pantalla d'ajuda de les variables a introduir en el Generador de mapes i rutes.

## 5.2. COMPORTAMENT DEL MOVIMENT DELS DOS ESCENARIS

En aquest punt s'explicarà com s'ha implementat el comportament del moviment dels dos escenaris dissenyats. Com ja he comentat abans, el model de moviment es genera a partir d'un fitxer de text on es donen valors als paràmetres necessaris, per a l'escenari de Notícies aquest s'anomena *noticies\_settings.txt*, mentre que per a l'escenari de Rutes de Vol s'anomena *rutesVol\_settings.txt*.

Totes les variables o paràmetres que explicaré a continuació serveixen per als dos escenaris, ja que l'objectiu a complir és el de simular el comportament dels avions en un espai aeri simulat, però amb protocols d'encaminament diferents.

### **Scenario.endTime**

En primer lloc, decidim el període de simulació en segons, en aquest cas simularem el comportament de cada escenari 48 h. Aquesta variable funciona amb segons, per tant tindrem 172800 segons.

### **btInterface.type**

A continuació amb aquesta variable s'especifica quina interfície es farà servir, en el nostre cas una xarxa sense fils (SimpleBroadcastInterface al simulador).

### **btInterface.transmitSpeed**

Aquesta variable especifica la velocitat de transmissió. En el nostre cas li hem posat 250kBps.

### **btInterface.transmitRange**

El radi de cobertura que volem simular és de 20 Km de distància. En aquesta variable però li hem de dir en metres, és a dir 20000m.

Per a la creació dels nodes, he comentat abans que faria servir diferents grups per a diferenciar el tipus de node segons sigui un avió o un

aeroport, però aquesta no és la única classificació. Com que cada torre de control és representada per un fitxer amb extensió .wkt amb la posició que li pertoca dins l'espai de simulació creat, tindrem un grup per a cada una per a especificar el fitxer que li correspon. A banda d'aquesta classificació també es vol simular un espai aeri amb varies companyies aèries i també amb diferents tipus de rutes. Aquestes rutes poden ser de tipus circular, on cada avió comença en un punt i una vegada acabat el camí torna al primer punt del mateix, o bé de tipus ping-pong, on una vegada s'ha arribat al darrer punt del camí, es recorre en ordre invers. En ambdós casos l'avió torna al seu punt d'origen. En definitiva tindrem dos grups per a cada companyia, per a especificar cada fitxer amb les rutes corresponents de tipus circular o ping-pong.

#### **Group.router**

D'aquesta manera s'ha creat un grup general on es pot configurar el tipus d'encaminament que es farà servir en tots els nodes (*EpidemicRouter* per a l'escenari de Notícies i *RutesVolRouter*, que és com s'anomena el nou protocol creat per a l'escenari de Rutes de Vol).

#### **Group.movementModel**

Amb aquest mateix grup especificarem el model de moviment que es farà servir en ambdós casos, el *MapBasedMovement*.

#### **Group.waitTime**

Una altra variable comuna a tots els nodes és el temps d'espera a l'aeroport, cada vegada que un node arriba a aquest. En aquest cas el temps estarà comprès en un interval de temps de 30 a 60 minuts, on el simulador elegirà de manera aleatòria aquest valor intermedi. Aquesta variable pren valors en segons, per tant el rang estarà entre 1800 i 3600 segons.

#### **Group.speed**

Un altre aspecte a simular i comú en tots els nodes és la velocitat. La velocitat d'un avió en l'aire és d'uns 800 a uns 900 Km/h (222.2 – 250

m/s) i quan aterra va a uns 250 km/h. Per a la simulació he fet servir el primer rang de valors en m/s, ja que es veu prou real el seu comportament.

#### **Group.activeTimes**

Com que el moviment d'avions a la nit s'atura en la majoria dels casos, per a simular aquest temps en que els avions no volen podem suposar que estan actius unes 20 hores de 24 i així ho especifiquem en intervals de segons per representar els intervals en que els avions estan en moviment (0, 72000, 86400, 158400).

Com ja he comentat tenim una sèrie de paràmetres comuns per a tots els nodes i els he representat amb aquest grup general. A continuació explicaré les variables que van canviant segons el grup per tal de distingir-los. Cada grup ve identificat per un número.

#### **GroupN.groupID**

Amb aquesta variable podem donar-li un identificador diferent a cada grup de nodes, però també posar-li el mateix a dos de diferents. En el nostre exemple de simulació, com que tindrem 4 companyies diferents, aquestes vindran representades per 4 identificadors (*a*, *b*, *c*, *d*) per a distingir els avions en la interfície gràfica. Les torres de control o aeroports, per altra banda tenen l'identificador *tc*.

#### **GroupN.movementModel**

Aquesta variable, per altra banda, determina quin és el model de moviment que farem servir per a introduir les rutes a cada grup, el qual serà el *MapRouteMovement*.

#### **GroupN.routeType**

Aquesta variable ens diu quin tipus de ruta utilitzarà aquest grup. Podem tenir dos valors, el valor 1 per a les rutes circulars i el valor 2 per a les ping-pong.

### **GroupN.msgTtl**

Per a simular l'encaminament amb caducitat de notícia també ho podem fer considerant que les notícies que es creen en un cert node (missatges) tindran una caducitat concreta. D'aquesta manera podem simular de manera senzilla el temps que perduren les notícies, ja que poden ser molt variables (el temps que farà en la destinació de l'avió o com està la borsa no interessa al dia següent, mentre que algun succés de caire més històric segurament sí).

### **GroupN.nrofHosts**

A cada grup també li podem dir el número de hosts que té cada grup i que seguiran la mateixa ruta amb aquesta variable. Cal tenir en compte que els nodes que representen aeroports només tindran un host, mentre que hi haurà varis avions que seguiran les mateixes rutes.

### **GroupN.routeFile**

I per últim, i molt important, podem configurar el path del fitxer de cada grup amb les rutes creades.

### **Events1.interval**

A continuació es configuren els paràmetres per a la creació de missatges. Aquesta variable és per a especificar l'interval de creació dels missatges.

### **Events1.size**

Variable que ens determina la mida dels missatges que volem crear.

### **Events1.hosts**

Rang de hosts que poden ser emissors. A l'escenari de Notícies seran els aeroports, mentre que al de Rutes de Vol seran els avions.

#### **Events1.tohosts**

Rang de possibles receptors. A l'escenari de Notícies tindrem avions i al de Rutes de Vol aeroports.

#### **MovementModel.worldSize**

Seguidament s'especifica la mida de l'espai de simulació en metres. A Espanya hem calculat que té una mida de 700 x 700 Km, per tant haurem de posar 700000m.

#### **MapBasedMovement.mapFileN**

També hem de dir el número de fitxers i quins, si n'hi ha més d'un, contenen tots els camins possibles, creat amb el Generador de Mapes i Rutes.

#### **Report.reportN**

Com que hi ha una sèrie d'informes que es poden generar però potser no ens interessen tots per a realitzar el nostre anàlisi posterior dels resultats, també podem dir el número d'informes a crear i quins.

Per acabar només quedarà configurar la interfície gràfica, tot modificant algun paràmetre com les mides que volem o si volem afegir una imatge a sota de la simulació (seria interessant si volguéssim simular el trànsit de qualsevol país i fem coincidir els aeroports en el mapa real).

### **5.3. PROTOCOL D'ENCAMINAMENT DE L'ESCENARI DE NOTÍCIES**

El protocol d'encaminament utilitzat en l'escenari de Notícies és l'Epidemic ja implementat al simulador The ONE, ja que la idea és que les notícies arribin a tots els avions, i que aquests facin la selecció que creguin convenient de les notícies que els arribin, ja sigui per ideals de la companyia o per subscripció individual de les notícies dels viatgers via RSS.

La base de l'encaminament a través d'un protocol Epidemic és el propagar missatges cada vegada que un host es troba amb un altre host. El funcionament és molt senzill, quan un node es troba amb un altre rep un missatge, el guarda i quan se'n troba a un altre el retransmet. Això es produeix de manera infinita.

El funcionament de la implementació del router Epidemic del simulador The ONE considera si un missatge ha estat enviat per un cert host i no el reenviarà a aquest, ni a qualsevol que ja tingui una còpia del mateix missatge. Per tant, això vol dir que tots els hosts mantenen una còpia fins que arribi a la destinació final, en cas de necessitat de retransmissió o fallades en la mateixa.

A més el router Epidemic funciona amb un buffer amb política de gestió de cues on es descarten els missatges més antics, segurament perquè és més probable que els antics s'hagin propagat a més hosts i que hagi arribat al destí, que els que acaba de rebre.

Comentar també que un host pot estar connectat amb molts altres, però que la transferència de missatges es produeix d'un en un. Degut al tipus de xarxa poden desconnectar-se fàcilment a causa del rang de cobertura dels hosts, per tant es dóna prioritat al fet d'enviar completament un missatge a enviar-ne molts de cop però no acabar la transferència.

#### **5.4. PROTOCOL D'ENCAMINAMENT DE L'ESCENARI DE RUTES DE VOL**

Per a l'escenari de Rutes de Vol he implementat un nou protocol. Aquest protocol consisteix en enviar missatges generats per avions a una destinació que serà un aeroport concret. A partir d'aquest punt, la idea és enviar els missatges als nodes que es troben més a prop del destinatari i que a la vegada vagin cap a una direcció més propera a l'aeroport de destí del missatge.



Per començar cal dir que la classe realitzada per a fer aquest protocol d'encaminament es diu *RutesVolRouter* i s'estén de la classe *ActiveRouter*, la qual ens proporciona una sèrie de mètodes molt fàcils d'utilitzar ideals per a xarxes DTN.

Els passos seguits per a la implementació d'aquesta idea són els següents:

1. Primer s'obtenen totes les connexions i el respectiu missatge entre el node actual i tots els seus nodes veïns que es troben dins el rang de cobertura. Aquests seran només els que no hagin estat abans els remitents del mateix missatge i que tampoc estiguin en procés de transmissió amb algun altre node.
2. En aquest punt tindrem una llista de tuples <Missatge, Connexió>, on li passarem al mètode anomenat *decisio()*, el qual ens retornarà aquesta llista amb possibles missatges descartats per a enviar, segons l'esquema que explicaré just a continuació.
3. Una vegada tenim quins són els missatges que es poden enviar, s'intentaran enviar per ordre amb el mètode *tryMessagesForConnected()* de la classe *ActiveRouter*, el qual fa precisament això, intenta enviar per ordre els missatges al node de la connexió fins que un comenci a transferir o bé fins que s'hagi intentat per a totes les tuples de la llista.

Una vegada explicat l'algorisme general, s'entrarà en la implementació concreta de la presa de decisió en quant a enviar un missatge a un cert node o no. No enviar-lo serà degut a que el propi avió es troba en millor posició que el que s'ha trobat.

La idea és jugar amb les posicions en coordenades de l'avió actual i del que s'ha trobat, dels quals podem conèixer la coordenada actual de cada un d'ells i la del següent punt, que serà un aeroport, i amb la posició del destí del missatge.

Amb aquestes dades calcularem l'angle que forma cada avió respecte la recta horitzontal, així com el del propi destí del missatge. Una vegada

tenim aquests tres angles, calculem la diferència entre cada angle de l'avió amb el missatge. El que tingui una distància angular menor serà el que guanyarà en la presa de decisió. Si es tracta de l'avió remitent s'eliminarà la tupla corresponent de la llista de missatges a enviar. En cas d'empat en l'angle, es calcularà la distància en línia recta de cada avió amb la posició del destí del missatge. I si tot i així es troben també a la mateixa distància, aleshores s'eliminarà aquesta tupla de la llista, ja que no val la pena perdre temps en la transmissió si el propi avió es troba a la mateixa distància que l'altre avió.

Per a la realització dels càlculs d'angles s'han de tenir una sèrie de consideracions, començant pel sistema de coordenades generat. Com que per generar els mapes i els models de moviment utilitzem la mida en metres que volem que tingui el món real, el sistema de coordenades comença pel punt (0, 0) al punt esquerra superior i acaba, en el nostre exemple, al punt (700000, 700000) al punt dret inferior. És a dir, no tenim coordenades negatives. Això ens influirà en la manera de calcular els angles. A més a més, també he hagut de considerar els casos especials en el càlcul d'angles, això és quan ens doni 0, 90, 180 i 270.

Per acabar, cal explicar que hi ha moments en què la posició actual i la següent seran les mateixes quan els avions estiguin aturats en els aeroports durant un interval de temps seleccionat de manera aleatòria entre 1800 i 3600. Aquests missatges podrien ser descartats en suposar que una vegada un avió es troba a l'aeroport ja no hi ha la necessitat d'enviar cap ruta de vol, però aquests missatges poden venir d'altres avions que estan volant, la destinació dels quals potser es troba en direcció oposada a aquest aeroport. A més estem considerant que les torres de control no estan connectades entre elles a través d'Internet, per tant és possible que un aeroport sigui un node que està més a prop que el que li ha passat el missatge perquè es dirigeix en direcció contrària del destinatari del missatge. Aleshores, quan un avió passi per aquest aeroport o el propi avió que està parat esperant que els passatgers pugin, aquest missatge es dirigirà al destinatari final.

## 5.5. MODIFICACIONS AL SIMULADOR

A part de la implementació en sí dels fitxers de configuració dels dos escenaris i del nou protocol d'encaminament per a l'escenari de Rutes de Vol, també s'han modificat algunes coses del simulador The ONE per tal d'aconseguir algunes funcionalitats que sense aquestes modificacions no es podien obtenir.

Aquestes són les modificacions realitzades:

1. Al fitxer *one.sh*, que és el que s'executa juntament amb el fitxer de configuració corresponent a cada escenari en concret per tal d'executar el simulador, s'ha afegit la opció `-server` per tal d'evitar que l'ordinador es quedi sense memòria heap.
2. Del package *gui* també he modificat l'arxiu *GUIcontrols.java* afegint més nivells de zoom a l'String `ZOOM_LEVELS`, per tal d'observar millor el mapa creat, degut a les dimensions que té.
3. Del package *core*, a la classe *DTNHost.java* he afegit una variable privada de tipus `Coord` anomenada *nextLocation*, un mètode per poder accedir a la mateixa *getNextLocation()*, així com la seva inicialització en la creació d'un *DTNHost* (`this.nextLocation = movement.getPath().getNextWaypoint();`) per tal de poder accedir a la següent coordenada a la que haurà d'accedir un avió. Aquesta informació és necessària en el nou protocol d'encaminament creat, a la classe *RutesVolRouter.java*.
4. I per acabar, del mateix *core*, però a la classe *Connection.java*, he afegit dos mètodes per a poder accedir a dues variables de tipus `protected`, *toNode* i *fromNode*, les quals són de tipus *DTNHost*. Els dos mètodes s'anomenen *getToNode()* i *getFromNode()* i són utilitzats també a la classe *RutesVolRouter.java*, per poder aconseguir les posicions en coordenades dels diferents nodes.

## 6. PROVES I RESULTATS

### 6.1. CREACIÓ DEL MAPA I LES RUTES

Abans de crear el mapa i les rutes per a després utilitzar en la simulació, anem a explicar perquè s'han escollit els valors en concret.

El número d'aeroports que farem servir a la simulació és de 20 i el percentatge de dispersió mínim serà del 15%, ja que podem tenir aeroports més principals i d'altres de secundaris a una mateixa zona, tot i que no utilitzem clusters per a l'elecció de les coordenades dels aeroports.

Ja he comentat en un capítol anterior que faria servir un mida de món de 700 Km per 700 km, intentant simular un territori de mida aproximada d'Espanya.

En quant al número de rutes de cada tipus és totalment aleatori, només m'interessa que es vegin els diferents tipus que hi ha per a simular un escenari més realista, així com el número de companyies i el percentatge de cada una.

Finalment, el percentatge d'aeroports i el trànsit de cada un en canvi, segueixen les dades reals d'Espanya extretes de les estadístiques dels darrers anys a la web d'Aena.

Per a fer proves amb diferents escenaris, el primer que farem serà crear mapes amb el Generador de Mapes. Per a executar-lo només cal entrar el següent al terminal una vegada ens trobem a la carpeta one.1.4.0/GenMap:

```
java GenMapForm
```

Una vegada ens apareix el formulari per a entrar les dades necessàries per a crear els mapes, se'ns crearà una carpeta amb el nom del mapa introduït. Per a la primera simulació que es portarà a terme s'han fet servir els següents valors per a crear els fitxers WKT:

**Generador de Mapes i Rutes**

Nom fitxer:

Número d'aeroports:

Percentatge dispersió mínima:

Mida màxima X:

Mida màxima Y:

Nº rutes 2 punts:

Nº rutes Circulars 3 punts:

Nº rutes Circulars 4 punts:

Nº rutes Ping-Pong 3 punts:

Nº rutes Ping-Pong 4 punts:

Percentatge aeroports:

Percentatge trànsit:

Nº companyies:

Llista percentatges avio/companyia { }

Figura 4: Valors utilitzats per a crear el mapa i les rutes.

Per a confirmar que s'han creat els mapes correctament ha d'aparèixer una finestra com la següent:



Figura 5: Confirmació de la creació correcta del mapa i les rutes.

## 6.2. SIMULACIÓ

Abans de procedir amb l'execució, primer cal compilar el simulador amb aquesta comanda:

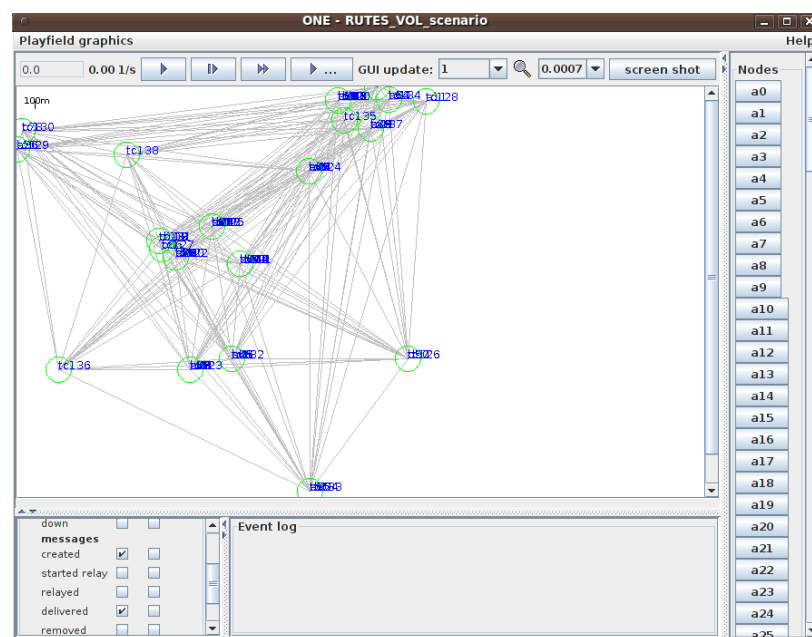
```
./compile.bat
```

A continuació s'ha executat el simulador amb les següents comandes per a simular cada escenari i el mapa creat. La primera és per a simular l'escenari de Notícies i la segona per a l'escenari de Rutes de Vol:

```
./one.sh noticies_settings.txt
```

```
./one.sh rutesVol_settings.txt
```

Per a l'escenari de Rutes de Vol aquí es pot veure el mapa creat abans de començar la simulació, així com la interfície del simulador:



**Figura 6: Mapa creat i interfície del The ONE.**

A continuació es pot veure el començament en el moviment dels nodes que representen avions i la dispersió seleccionada, on podem veure com aquesta es centra en uns quants nodes de tipus aeroport:

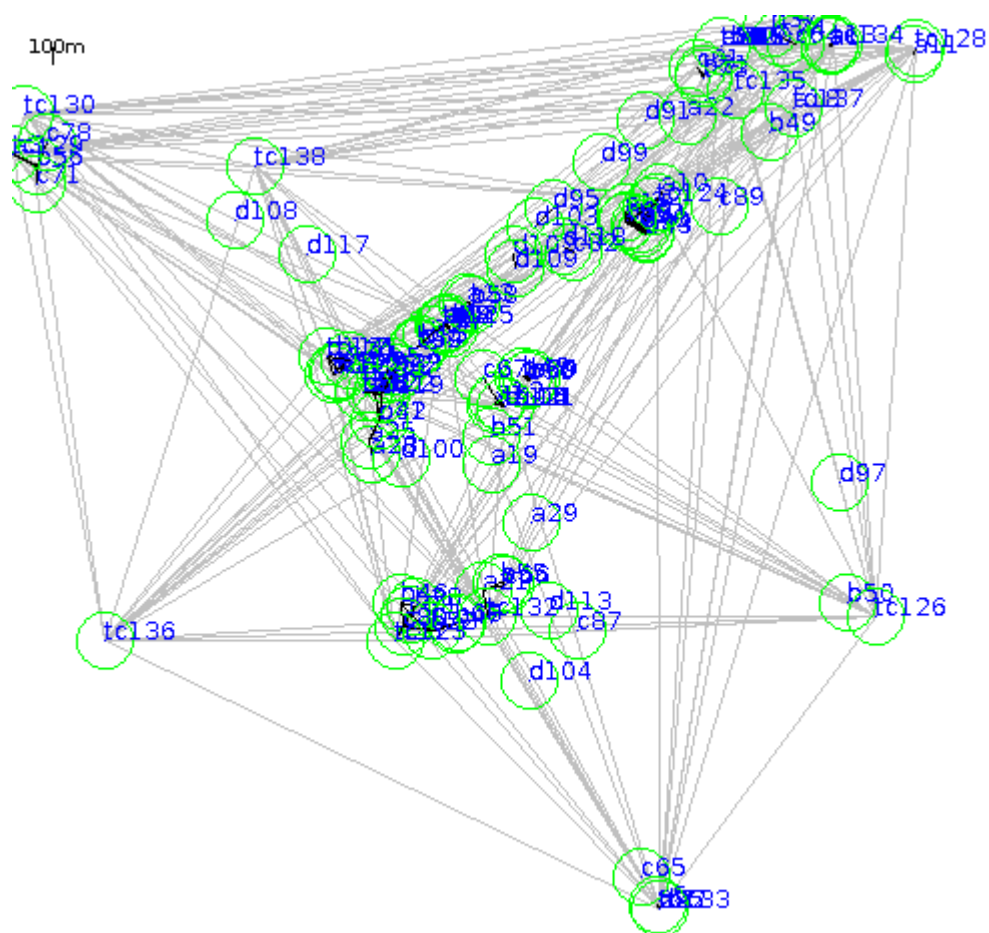


Figura 7: Començament de la simulació de l'escenari de Rutes de Vol.

Per simular aquesta dispersió s'han extret unes estadístiques que ens podem traduir de la següent manera: a Espanya un 30% dels aeroports tenen el 50% del trànsit de les estadístiques de moviments en els aeroports d'Espanya. Aquestes estadístiques s'han extret dels informes anuals dels darrers anys de la pàgina web d'Aena, com ja he comentat abans.

En aquesta última imatge podem veure representats precisament aeroports més principals, com podrien ser Madrid o Barcelona, entre d'altres, on es concentra la major part del trànsit (en aquest cas un 30% de 20 aeroports vol dir que 6 dels aeroports tindran un 75% del trànsit total dels moviments d'avions).

A continuació, la següent imatge ens mostra una captura de pantalla d'un moment de la simulació, on es pot veure la informació d'encaminament d'un node de tipus aeroport, el qual ha rebut sis missatges, el camí amb els nodes pels quals ha passat abans de ser entregat i les connexions en el moment concret de la simulació:

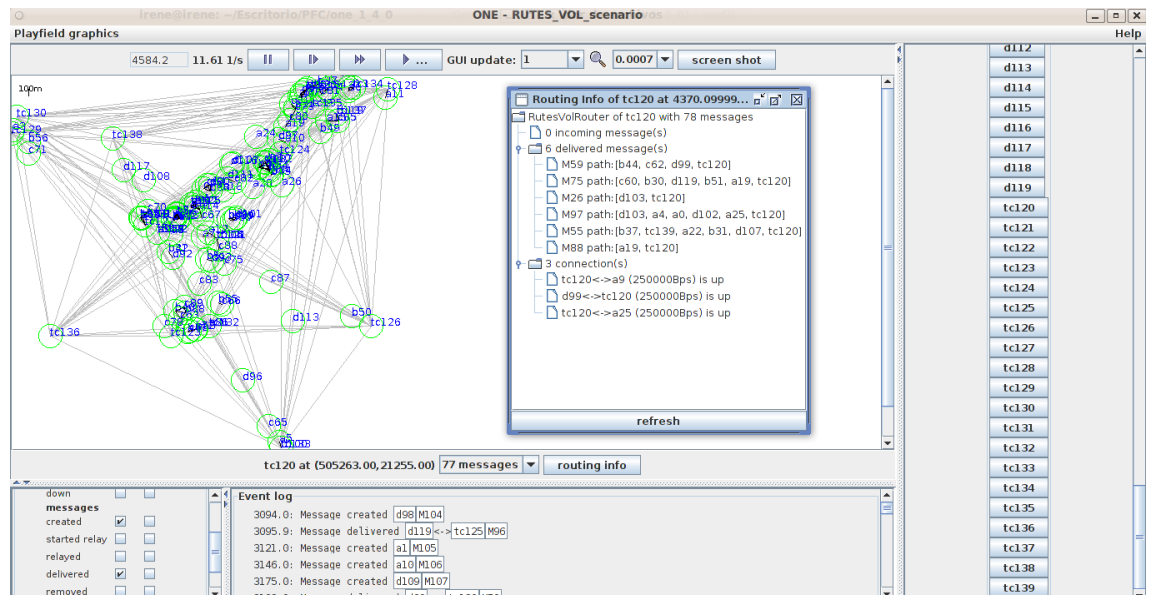


Figura 8: Informació d'encaminament d'un aeroport a l'escenari de Rutes de Vol.

També podem comprovar a la part inferior de la interfície gràfica com els missatges que es creen sempre són des de nodes que representen avions de diferents companyies aèries i comencen per *a*, *b*, *c* i *d*, per a diferenciar-les. Mentre que, quan s'entrega sempre es tracta d'un node de tipus aeroport o torre de control, representat per un identificador que comença per *tc*.

A la següent imatge per altra banda es pot observar com la informació de la finestra sortint és d'un node de tipus avió, en aquest cas, el c77. Amb la informació que ens mostra podem extreure que en el moment concret d'agafar aquesta captura de pantalla, el node estava connectat a 4 nodes més. El primer de la llista que es mostra estava a més transferint el missatge amb identificador M121 i el temps previst que s'acabés aquesta transferència. En aquest cas, la informació és de



l'instant 6066.500000004538 i la transferència hauria d'acabar, si no hi ha interrupció en la connexió a l'instant 6067.806504004534.

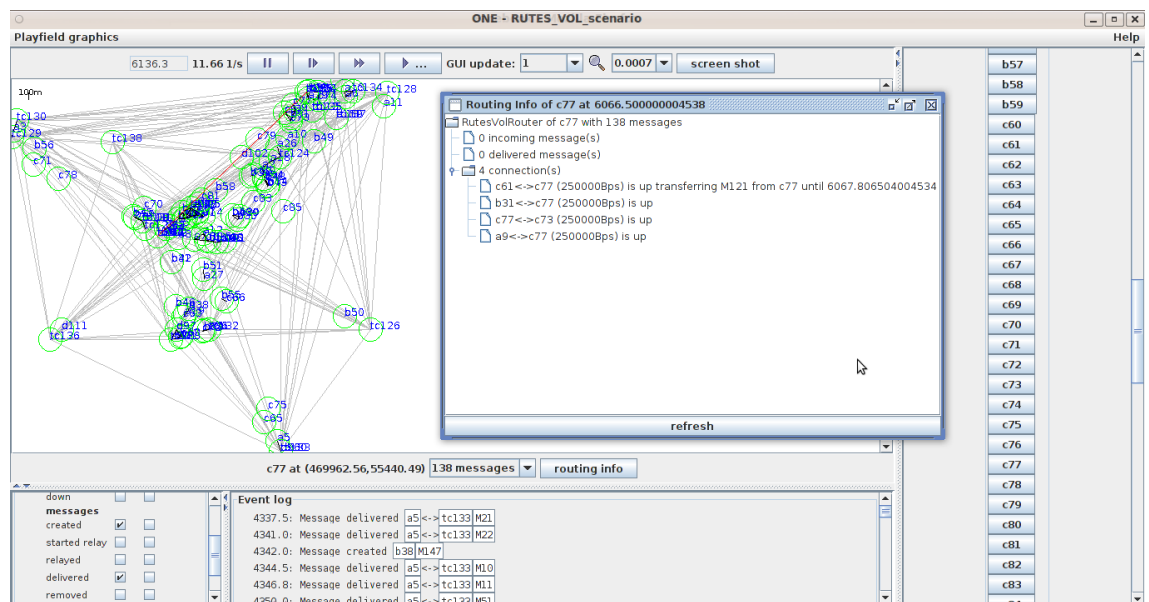


Figura 9: Informació d'encaminament d'un avió a l'escenari de Rutes de Vol.

Per acabar, a la següent imatge podem veure augmentant el zoom de la interfície varies connexions actives en un moment de la simulació amb més detall, representades per aquestes línies negres:

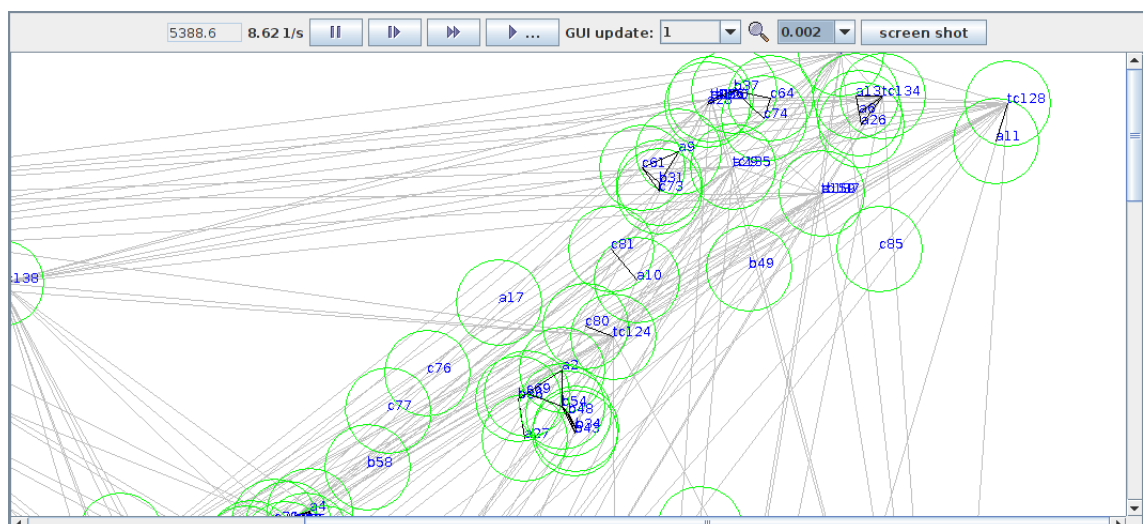


Figura 10: Zoom de les connexions entre nodes.

Comentar també que els cercles verds que envolten cada node representen el rang de cobertura de cada un d'ells.

En quant a novetats a afegir de l'escenari de Notícies, simplement comentar el fet que els nodes que creen aquí els missatges són les torres de control, mentre que els nodes que les reben són avions.

A la següent imatge doncs, podem veure la informació d'encaminament d'un node de tipus avió, el qual ha rebut un missatge i el camí de nodes pel qual ha passat abans d'arribar al seu destí, essent un aeroport el generador: M7 path: [tc121, b39, d114, d115, b52, a28, c63], així com les actuals connexions.

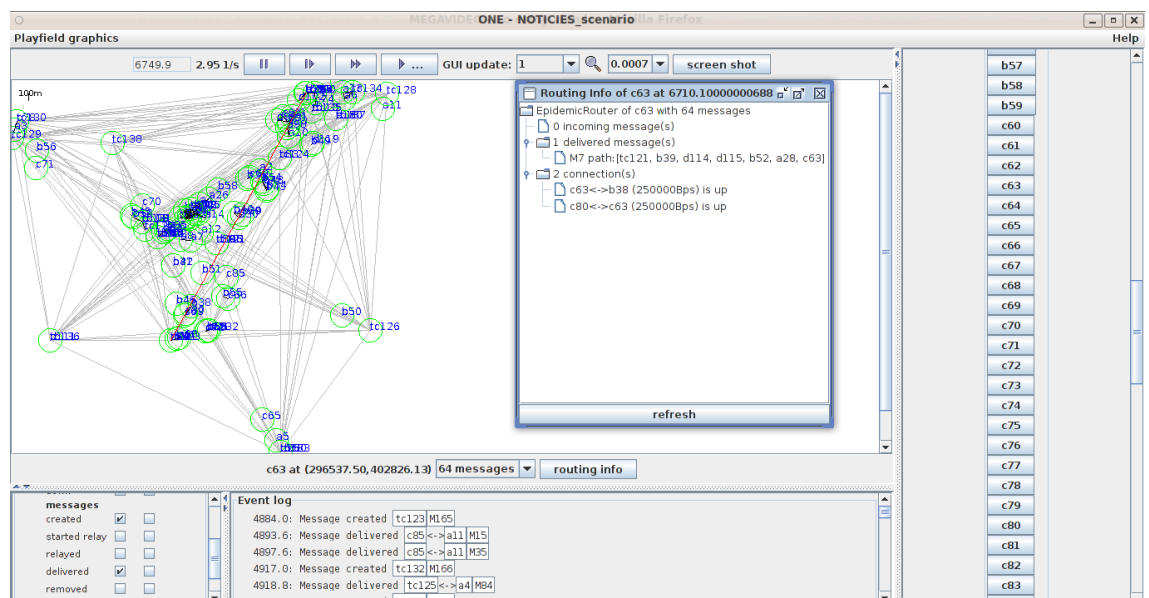


Figura 11: Informació d'encaminament d'un avió a l'escenari de Notícies.

Per altra banda, aquesta captura de pantalla ens mostra la informació d'encaminament d'un node de tipus aeroport o torre de control. En el moment de la simulació podem veure una transferència activa entre els nodes tc136 i el d111, el qual li envia al primer un missatge amb identificador M54.

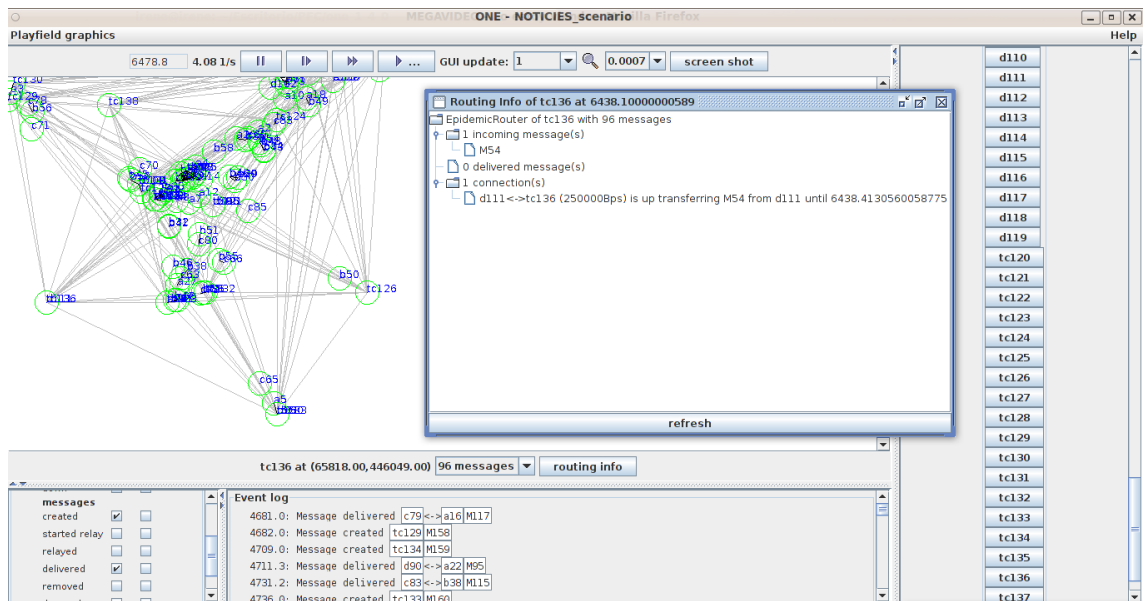


Figura 12: Informació d'encaminament d'un aeroport a l'escenari de Notícies.

## 6.3. ANÀLISI DE RESULTATS

Una vegada vist el comportament gràfic dels dos escenaris sobre el simulador The ONE, ja podem analitzar els informes creats.

### 6.3.1. MessageStatsReport

El primer d'ells s'anomena *MessageStatsReport* i a l'escenari de Rutes de Vol ens retorna aquests valors:

```
sim_time: 172800.0000
created: 5856
started: 1795475
relayed: 1783828
aborted: 11610
dropped: 1769317
removed: 0
delivered: 2031
delivery_prob: 0.3468
response_prob: 0.0000
overhead_ratio: 877.3003
```

```
latency_avg: 10665.1735
latency_med: 6786.6000
hopcount_avg: 7.1600
hopcount_med: 6
buffertime_avg: 1514.3152
buffertime_med: 788.5000
rtt_avg: NaN
rtt_med: NaN
```

En el primer que ens fixem és en la probabilitat d'entrega dels missatges, en aquesta simulació de 0.3468. Per a obtenir aquest resultat es tenen en compte el número total de missatges creats i els entregats, tot i que també podem observar les transferències començades entre tots els nodes de l'escenari simulat: 1795475, les que s'han arribat a transmetre: 1783828 i els intents que han acabat cancel·lats: 11610. Si calculem el percentatge d'intents cancel·lats aquest és molt petit, del 0.6466%.

En quant a sobrecàrrega, aquesta és alta (877.3003) donat que no es coneix com és la xarxa DTN, tot i que és menor que en el cas de l'escenari de Notícies, ja que a l'encaminament de tipus Epidemic s'envien els missatges cada vegada que el node se'n troba un altre.

Pel que fa a la latència, els retards temporals de la xarxa, ens fixarem més en la mediana i no en la mitja per analitzar els resultats, ja que es basa en la tendència centrals i no els valors atípics com la mitja. En aquesta simulació s'obté una mediana de 6786.6000 segons, això serà 1 hora 53 minuts i 6.6 segons.

En quant al valor de salts per tal de que un missatge arribi al seu destí és d'una mediana de 6. I el temps de mediana que es troba un missatge al buffer és de 788.5000 segons, és a dir 13 minuts i 8.5 segons.

A l'escenari de Notícies, per altra banda, obtenim els següents valors:

```
sim_time: 172800.0000
created: 5856
started: 2035498
relayed: 2024759
aborted: 10694
dropped: 2010577
removed: 0
delivered: 1708
delivery_prob: 0.2917
response_prob: 0.0000
overhead_ratio: 1184.4561
latency_avg: 9175.8975
latency_med: 6538.9000
hopcount_avg: 5.5422
hopcount_med: 4
buffertime_avg: 1342.5600
buffertime_med: 493.0000
rtt_avg: NaN
rtt_med: NaN
```

En aquest cas, la probabilitat d'entrega dels missatges baixa respecte a l'algorisme de les Rutes de Vol, a 0.2917, ja que els missatges entregats disminueix a 1708 del mateix total. Pel que fa a transferències començades, aquest valor és major: 2035498, ja que sempre que hi ha encontres entre nodes s'intenta reenviar algun missatge.

La sobrecàrrega, per altra banda, és encara major en aquest escenari, de 1184.4561. Pel que fa a la latència mediana els resultats són semblants: 6538.9000 segons, és a dir 1 hora, 48 minuts i 58.9 segons.

Pel que fa al número de salts fins a arribar al seu destí, amb l'encaminament Epidemic tenim un número menor de salts, una mediana de 4, dos menys que amb l'encaminament de les Rutes de Vol. I el temps de mediana que es troba un missatge al buffer és també menor, d'uns 5 minuts menor, de 493.0000 segons, és a dir 8 minuts i 13 segons.

### 6.3.2. MessageGraphvizReport

Un informe interessant a comentar és el *MessageGraphvizReport*, ja que obtenim una llista en forma de graf amb tots els camins que han seguit cada un dels missatges enviats. És molt interessant perquè amb el visor o editor de codi obert Graphviz [GRAPHVIZ] es poden visualitzar en forma de graf, convertint l'informe de text obtingut en una imatge.

Evidentment, amb la gran quantitat de missatges obtinguts no podem visualitzar-los tots de cop. Per això a continuació es mostren els grafs dels 20 primers camins de l'escenari de les Rutes de Vol i de l'escenari de Notícies respectivament.

El primer graf corresponent a les Rutes de vol representa els 20 primers missatges dels 2031 enviats:

```
/* scenario RUTES_VOL_scenario
2031 messages delivered at sim time 172800.0000055704
*/

digraph msggraph {
    d114->tc121;
    d112->tc131;
    d103->tc120;
    c70->c82->c85->d99->b44->tc125;
    b51->tc121->d115->b33->b52->c85->c76->d96->b59->tc131;
    d100->tc122;
    b51->d114->a7->d115->b33->b52->c85->d96->b59->tc131;
```

```
d113->d115->b33->b52->c85->c76->d96->b59->tc131;  
a10->tc124;  
a14->d113->d115->b33->b52->c85->d96->b59->tc131;  
c83->b31->a22->tc135;  
a12->d119->b42->a8->tc122;  
c86->tc127;  
c62->a14->b35->a16->b33->b42->a8->tc122;  
c80->a29->a25->tc122;  
b37->tc139->a22->b31->d107->tc120;  
d108->b35->tc125->c82->tc124;  
b41->c82->tc124;  
a29->c80->a25->a28->b32->d119->tc125;  
b45->tc127->b59->a20->c76->a28->a8->b33->d119->  
>tc125;  
}
```

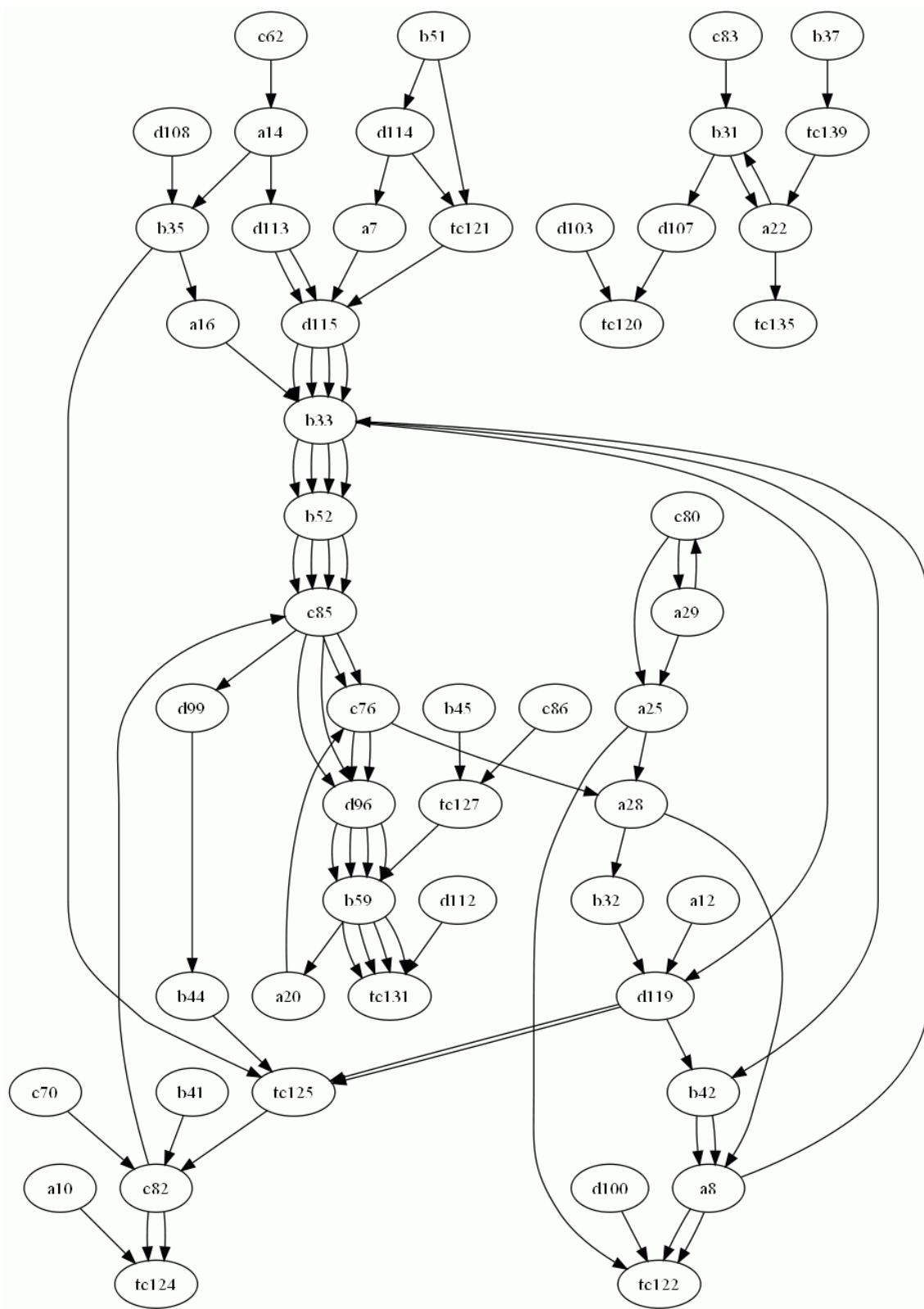


Figura 13: Graf dels primers 20 nodes de l'escenari de Rutes de Vol.



I el que ve a continuació els 20 primers d'un total de 1708 missatges de l'escenari de les Notícies:

```
/* scenario NOTICIES_scenario
1708 messages delivered at sim time 172800.0000055704
*/

digraph msggraph {
    tc120->d111;
    tc123->c80;
    tc132->c68;
    tc127->b45->a8;
    tc122->c82->c85->c70->tc127->d118;
    tc120->a9;
    tc124->b48;
    tc121->b30->c67->d115->d113;
    tc121->d110->d115->b52->a20->b59->c70;
    tc127->b45->c82->c85->a28->b33->d115->a7;
    tc137->a15->a10->a2->b48->b36;
    tc127->b45->c76->b33->d115->d110;
    tc131->tc127->b45->d99->d91;
    tc123->a25->a28->b32->d119->b33->b57->a16;
    tc123->a25->a28->b32->d119->b33->b57->a16->b35;
    tc134->c64->c74->a22->c73->c61->a17;
    tc127->tc131->c86->b45->c82->c69;
    tc125->c62->c82->c69;
    tc122->c82->c62->a0->d99->a22;
    tc135->a22->c73->c61->a17->d90;
}
```

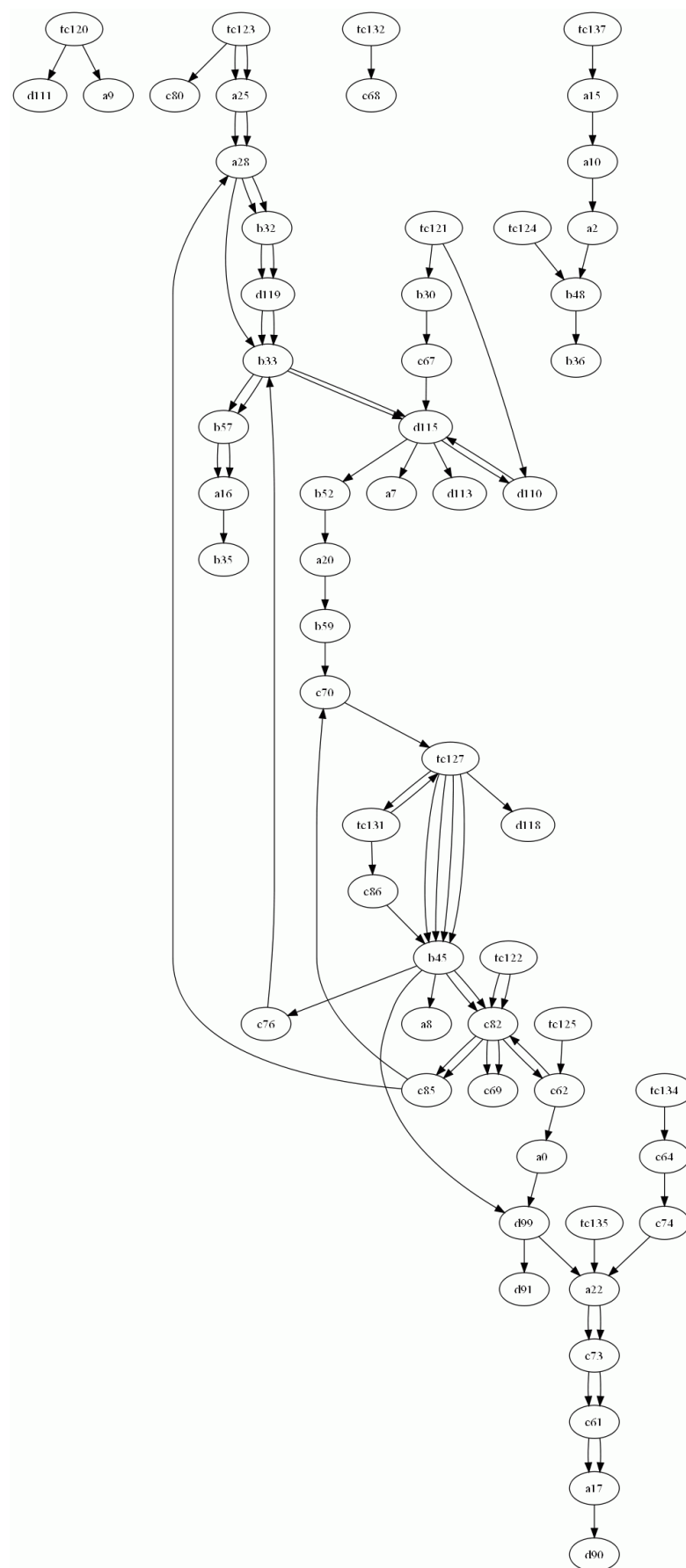


Figura 14: Graf dels primers 20 nodes de l'escenari de Notícies.

## 7. CONCLUSIONS

Com a conclusions, fent memòria de quins eren tots els objectius marcats en aquest projecte, cal dir que s'ha estudiat en profunditat tot el funcionament i comportament de les xarxes DTN i dels Agents Mòbils. Això s'ha portat a terme durant tot el desenvolupament del projecte. A continuació s'ha realitzat l'estudi i la comprensió del funcionament del simulador The ONE, per tal de poder crear amb la major realitat possible els dos escenaris estudiants en aquest projecte, un per a la creació de Notícies per part de les torres de control o aeroports amb avions com a destinataris, i l'altre per a la creació de missatges que corresponen a informació sobre canvis en Rutes de Vol, aquests generats pels avions i amb destinatari un aeroport en concret.

Per a realitzar totes les proves sobre el simulador The ONE, s'ha implementat un Generador de Mapes i Rutes amb format WKT, Aquesta ha estat una eina imprescindible per a fer de manera ràpida i senzilla qualsevol tipus de prova sobre el simulador.

De fet, la part més important del projecte ha estat la implementació del nou protocol d'encaminament, dissenyat per a l'enviament d'informació en el canvi de rutes de vol d'un avió a un aeroport. Per a la implementació d'aquest protocol, ha estat necessari fer algunes modificacions al simulador The ONE, ja que aquest ha estat dissenyat i implementat per un altre tipus d'escenaris que no contemplaven alguns aspectes importants per a la implementació d'aquest protocol.

En aquest projecte s'han creat dos escenaris, el de Notícies utilitzant un tipus d'encaminament Epidemic; i el de Rutes de Vol, usant el nou protocol d'encaminament creat.

Per acabar, s'han realitzat amb èxit els testos i validacions necessàries per a comprovar el funcionament dels dos escenaris sobre el simulador The ONE.

Com a possibles ampliacions, crec que és important canviar la manera de crear els missatges, en el sentit de permetre fer enviament d'aquest no només de tipus unicast sinó també per a la resta, broadcast, anycast o multicast, per així tenir una major flexibilitat en la creació d'escenaris diferents i més realistes.

Una altra possible ampliació sobre el meu projecte, podria ser el de l'estudi de la gestió de cues per a evitar la congestió, ja que en el meu treball realitzat no s'ha contemplat aquest aspecte també important en tot el tema de les xarxes DTN.

En quant a millores a realitzar, es podria modificar el fet de que en la simulació gràfica, quan els nodes deixen d'estar actius, voldríem que aquests arribessin a les seves destinacions. En canvi, els avions es queden parats a on s'han quedat, cosa que visualment no queda gaire bé, però s'ha utilitzat perquè l'aturada a la nit de vols influeix en els resultats de la simulació.

Un altre petit detall que es podria modificar seria el fet de que es creïn missatges només en un interval donat de segons, i ens interessaria que quan els avions es troben parats als aeroports, o bé en estat de repòs perquè és de nit, no es generessin missatges.

En quant a la planificació, a la realitat, la planificació final ha variat lleugerament en alguns aspectes, però s'ha finalitzat el projecte dins el termini previst.

El que ha canviat sobretot en la planificació és el temps dedicat a l'anàlisi i disseny dels dos protocols i els seus models de moviment, que ha estat major i més important que el de la pròpia implementació, ja que la base d'aquest projecte és precisament l'anàlisi i el disseny.

També ha calgut un temps dedicat a l'estudi i comprensió del simulador The ONE i a la implementació del Generador de Mapes i la seva interfície gràfica, que no es podia preveure donat que en la planificació inicial encara no sabíem amb quin simulador treballaríem.

En quant a la realització de la memòria, si que s'han començat a redactar alguns punts a mesura que s'han anat prenent decisions, però potser no tant aviat com està representat al diagrama de Gantt inicial.

A continuació, doncs, podem observar com quedaria la planificació final a través del següent diagrama de Gantt:

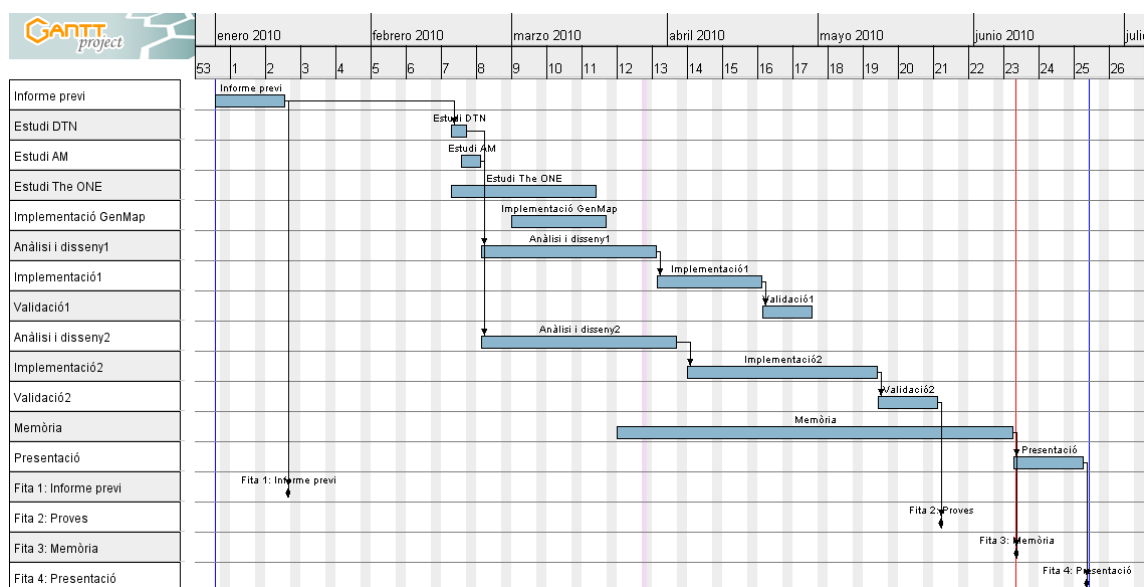


Figura 15: Planificació final del projecte.

## 8. REFERÈNCIES

- [AENA]** Estadístiques dels aeroports d'Espanya de la pàgina web d'Aena:<http://www.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home>
- [EATMMP]** European Air Traffic Management Master Plan. Edition 1 – 30 March 2009.
- [FIPA]** Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). FIPA Standars Comitee (FIPA SC). Policies and Procedures. 1 d'octubre de 2005.
- [GPLv3]** GNU General Public License, versió 3, 29 de juny de 2007.
- [GRAPHVIZ]** Graphviz URL: <http://www.graphviz.org/>
- [LOPD]** Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.
- [MANET]** Mobile Ad hoc Networks working group IETF URL: <http://datatracker.ietf.org/wg/manet/charter/>
- [OGC]** Open Geospatial Consortium URL: <http://www.opengeospatial.org/>.
- [ONE]** Simulador The ONE (Opportunistic Network Environment) [http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/pub/the\\_one\\_simutools.pdf](http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/pub/the_one_simutools.pdf)
- [PROSES]** Protocolos de Red para el Cielo Único Europeo. Projecte Plan Avanza. Ref. TSI-020100-2009-115.
- [RFC 4838]** V. Cerf , A. Hooke, L. Torgerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall, H. Weiss “Delay-Tolerant Networking Architecture”, IETF RFC 4838, Apr. 2007.
- [RFC 5050]** K. Scott, S. Burleigh, “Bundle Protocol Specification”, IETF RFC 5050, Nov. 2007.
- [SWING]** Swing API documentation: <http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/swing/>

Firmat: Irene Vinent Mercadal  
Bellaterra, \_\_ de \_\_\_\_\_ de 2010

## **Resum**

En aquest projecte s'ha treballat en l'entorn PROSES, on aeroports i avions de l'espai aeri són mules de transport sobre una xarxa DTN. L'objectiu principal és estudiar i simular dos escenaris concrets: l'enviament de notícies des de les torres de control als avions, i l'enviament de canvis de rutes de vol dels avions a un aeroport en qüestió. S'ha simulat el comportament de dos protocols d'encaminament diferents sobre els escenaris creats. Per a realitzar les proves s'ha utilitzat el simulador The ONE, s'ha implementat un nou protocol d'encaminament, s'ha creat un Generador de Mapes i Rutes, i s'han realitzat amb èxit les simulacions.

## **Resumen**

En este proyecto se ha trabajado en el entorno PROSES, donde aeropuertos y aviones del espacio aéreo son mulas de transporte sobre una red DTN. El objetivo principal es estudiar y simular dos escenarios concretos: el envío de noticias desde las torres de control a los aviones, y el envío de cambios de rutas de vuelo de los aviones a un aeropuerto en cuestión. Se ha simulado el comportamiento de dos protocolos de encaminamiento diferentes sobre los escenarios creados. Para realizar las pruebas se ha utilizado el simulador The ONE, se ha implementado un nuevo protocolo de enrutamiento, se ha creado un Generador de Mapas y Rutas y se han realizado con éxito las simulaciones.

## **Abstract**

This project has focused on the environment PROSES, where airports and planes of the airspace are transport mules on a DTN network. The main goal is to study and to simulate two specific scenarios: sending news from control towers to planes, and sending route changes of flight from the planes to a concrete airport. The behavior of two routing protocols has been simulated on the scenarios created. The simulator The ONE has been used to carry out the tests, a new routing protocol has been implemented, a Generator of Maps and Routes has been created and successfully simulations have been carried out.